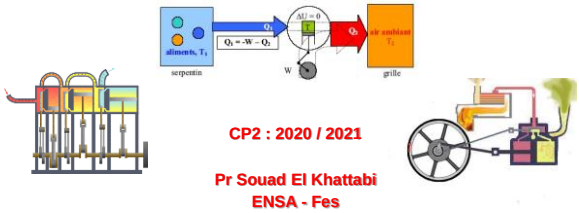
Elément de module

Thermodynamique



CP2 : 2020 / 2021

Pr Souad El Khattabi
ENSA - Fes

Notion de température et de pression

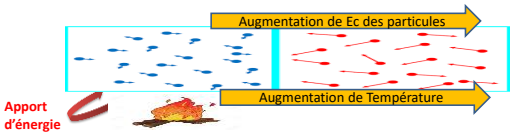
→ Notion de température

L'origine de l'idée de température, ce sont nos sensations de froid ou de chaud aux contacts des objets qui nous entourent.

Le café est chaud
La glace est froide
Café plus chaud que la glace

→ Notion température et une intuitive et relative

Physiquement, la température définit le **degré d'agitation** des particules qui composent un système. Elle traduit l'énergie cinétique des particules



En effet, l'énergie cinétique d'une particule du gaz est :

$$E_i = \frac{1}{2} m_i v^2 = \frac{3}{2} kT \quad (A\ démontrer)$$

→ Mesure de température

Elle est mesurée avec un thermomètre, selon une échelle prédéfinie.
Un thermomètre est un dispositif dont un paramètre d'état dépend de la température.

- hauteur du mercure,
- longueur de la règle métallique,
- etc

→ Échelle de température

L'unité de mesure de température dans le système international (SI) est le Kelvin (K). Le zéro Kelvin (zéro absolu) correspond à une absence totale d'agitation microscopique (0 °K=-273,15 °C).

Les échelles les plus utilisées sont: Celsius et Fahrenheit:

→Échelle Celsius:

0°C correspond à la température de la glace fondante (mélange eau liquide + glace)

100 °C correspond à la température de l'eau en ébullition au niveau de la mer (P = 1 Atm)

→Échelle Fahrenheit :

32°F correspond à la température de solidification de l'eau

212°F correspond à la température de ébullition de l'eau

Exercice 1 :

L'échelle Fahrenheit se déduit de l'échelle Celsius par une transformation linéaire. Par définition 32°F = 0°C et 212°F = 100°C.

1°) Convertir 400°F en °C et 400°C en °F,

2°) A quelle température les deux échelles donnent – elles la même indication ?

3°) Exprimer l'équation du gaz parfait en °F.

Exercice 2 :

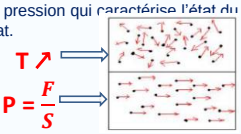
Un thermomètre à mercure, gradué linéairement, est plongé dans la glace fondante, le mercure affleure à la division - 6. Dans la vapeur d'eau bouillante, sous 76 cm de mercure, il affleure à la division 101.

1°) Dans un bain tiède, le mercure affleure à la division n = 50. Déterminer la température θ du bain.

2°) Plus généralement, déterminer la correction à apporter à la division n, sous la forme $\theta - n$. En déduire la température pour laquelle aucune correction n'est nécessaire.

→ Notion de Pression

- La pression est définie comme une force par unité de surface. $P = \frac{F}{S}$
- Lors de l'étude d'un système en thermodynamique, on distingue deux Pressions :
  - ❖ la pression exercée par l'extérieur sur la paroi du système, qui est une **action extérieure, donc,** ce n'est pas une variable d'état,
  - ❖ la pression à l'intérieur du système. Cette pression qui caractérise l'état du système, il s'agit donc d'une variable d'état.



Contrairement à la température
La pression est une action ordonnée

La pression est due aux nombreux chocs
des atomes ou molécules de la matière sur les parois du récipient.

On définit la pression par : $\boldsymbol{P = \frac{1}{3} N m_i v^2}$ $(A\ démontrer)$

N: nbr de particule, m_i: masse de la particule, v: sa vitesse

Exercice 3 :

Un récipient cubique contient dix moles d'oxygène, de masse molaire M = 32g/mole, dans les conditions normales de pression et de température (P= 10^5 Pa, To= 273 K, k = 1,38 10^{-23}J/K).

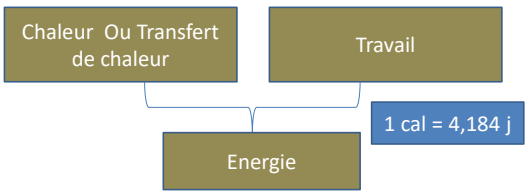
En supposant que ce gaz est un gaz parfait :

1°) Rappeler l'expression donnant la pression d'un gaz parfait monoatomique en fonction de la densité particulaireη, de la masse m de la particule et de la vitesse quadratique moyenne des particules $v_q = \sqrt{(V)^2}$,

2°) Déduire l'énergie cinétique moyenne d'une particule du gaz en fonction de k (constante de Boltzman) et T,

3°) Calculer la densité particulaire η du gaz, l'énergie cinétique moyenne d'une particule du gaz et la vitesse quadratique moyenne des particules v_q

Notion de chaleur, travail & énergie



Les échanges d'énergie entre matière se présentent sous deux formes possibles; la chaleur (**Q**) ou le travail (**W**).

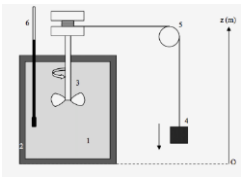
Ces deux formes sont interprétées à l'échelle microscopique comme une manifestation de l'agitation des molécules et des atomes.

Agitation désordonnée lors d'un transfert de chaleur Q),

Agitation ordonnée lors d'un échange de travail W).

→ L'expérience de Joule :

Cette expérience a permis d'établir l'équivalence entre travail (énergie mécanique) et chaleur (énergie thermique).



Cette expérience consiste à chauffer de l'eau.

(1) dans une enceinte isolée thermiquement

(2) par la rotation d'une hélice

(3) entrainée par la chute d'un objet

(4) relié par un fil à une poulie

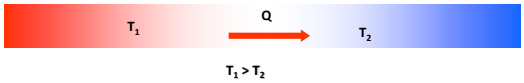
(5) Un thermomètre

(6) permet de mesurer l'élévation de la température.

Joule montra que la chaleur reçue par le liquide est égale, aux pertes près, au travail mécanique de la masse. Dans cet exercice, on négligera les pertes diverses.

→ Notion de chaleur

La chaleur est une **forme** ou un **mode** de transfert d'énergie entre deux systèmes. Ce transfert se fait spontanément d'un système à température plus élevée à celui de plus basse température.



$T_1 > T_2$

On note la chaleur par Q. L' unité de mesure de Q est le kcal (SI)

On distingue trois types de transfert thermique:
la convection, transfert thermique qui accompagne les déplacements macroscopiques de la matière ;
la conduction, due à la diffusion progressive de l'agitation thermique dans la matière ;
le rayonnement, qui correspond à la propagation de photons.

La chaleur n'est pas une fonction d'état, c'est-à-dire dépend du chemin suivi. A l'équilibre Thermique on aura: $\sum_{i=1}^{n} Q$ **= 0**

On définit deux types de chaleurs distinctes:

→ Chaleur sensible
et
→ chaleur latente

→Chaleur sensible

Quand on mélange plusieurs corps i de capacité calorifique C_i aux températures initiales t_i. Ils arrivent à la même température finale d'équilibre t_{eq}. On a : $\overline{Q_i} = C_i \Delta t = C_i (t_{eq} - t_0)$

C_i : Capacité calorifique = J/K

On appelle chaleur spécifique massique $C_m = \frac{C}{m}$, c'est la **capacité thermique massique :** $Q = mc_m \Delta t$, C_m: J /Kg K

C_m est la quantité d'énergie nécessaire pour élever de 1[°C] ou 1[K], une unité de masse d'un liquide, d'un gaz ou d'un solide

Exp chaleur spécifique de l'eau est de 4186 J/kg K

On calcul c_m à P =cst ou à V = cst
À P = cst ⟹ c_p et à V = cst ⟹ c_v

C_v : Chaleur/capacité massique à volume constant
C_p : Chaleur/capacité massique à pression constante
C_m: Chaleur / capacité massique

Pour les liquides et les solides $c_p \approx c_v$
Pour les gaz $c_p \neq c_v$ et $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$

D'une façon générale, lors d'une transformation élémentaire de Q s'écrit en fonction des variable d'état P,T,V:

$$\delta Q = C_V dT + l\, dV \quad (1)$$

$$\delta Q = C_P dT + h dP \quad (2)$$

$$\delta Q = \lambda dP + \mu\, dV \quad (3)$$

l, h, λ, μ sont appelés coefficients calorimétriques.

Ces paramètres s'expriment en fonction de C_v et C_p comme suit:

$$\lambda = C_V \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_V \quad et \quad h = -(C_P - C_V)\left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_V$$

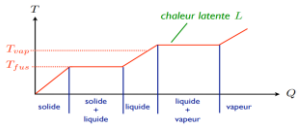
$$\mu = C_P \left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_P \quad et \quad l = (C_P - C_V)\left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_P$$

→ **1 calorie** = énergie nécessaire pour faire passer 1g d'eau de 14,5°C à 15,5°C 1 calorie = 4,186 J

→Chaleur Latente

C'est la chaleur nécessaire à 1kg de la matière pour changer son état Elle se fait à température constante. L (en joule)

Q = mL



Si une casserole en aluminium de 100g de masse une énergie de
Q = mL = 3.97 10^4 J
est suffisante pour la fondre

substance	type	L [J/kg]
eau	fusion (0°C)	$3.33\,10^5$
eau	vaporisation (100°C)	$2.26\,10^6$
aluminium	fusion (660°C)	$3.97\,10^5$
cuivre	fusion (1083°C)	$1.34\,10^5$

Chaleur sensible

Chaleur a pour effet de faire varier la température ↑ ou ↓ sans changement de phase

$Q = mc_m\Delta t$

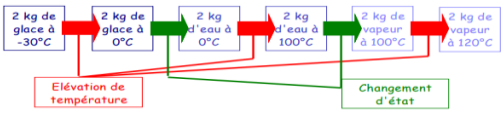
Chaleur Latente

Chaleur a pour effet de changer la phase du système sans changement de température

Q = mL

Exercice d'application :

Calculer la quantité de chaleur nécessaire pour amener la température de 2 kg de glace de -30°C à + 120°C



- Calcul de la quantité de chaleur Q1 pour élever la température de 2 kg d'eau de -30 à 0°C :
  $Q1 = m \cdot Cm \cdot (t_f - t_i) = 2 \times 2{,}2 \times (0 + 30) = 132$ kJ
- Calcul de la quantité de chaleur Q2permettant la fusion de 2 kg de glace :
  $Q2 = m \cdot C_L = 2 \times 334 = 668$ kJ
- Calcul de la quantité de chaleur Q3 pour élever la température de 2 kg d'eau de 0 à 100°C :
  $Q3 = m \cdot Cm \cdot (t_f - t_i) = 2 \times 4{,}18 \times (100 - 0) = 836$ kJ
- Calcul de la quantité de chaleur Q4permettant la vaporisation de 2 kg d'eau :
  $Q4 = m \cdot C_L = 2 \times 2257 = 4514$ kJ
- Calcul de la quantité de chaleur Q5 pour élever la température de 2 kg d'eau de 100 à 120°C :
  $Q5 = m \cdot Cm \cdot (t_f - t_i) = 2 \times 1{,}83 \times (120 - 100) = 73{,}2$ kJ
- Calcul de la quantité totale de chaleur à fournir
  $Qt = Q1 + Q2 + Q3 + Q4 + Q5 =$ **6223 kJ**